

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-256359

(43) 公開日 平成10年(1998) 9月25日

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	F I	
H 0 1 L 21/68		H 0 1 L 21/68	R
B 2 3 Q 3/15		B 2 3 Q 3/15	D
H 0 2 N 13/00		H 0 2 N 13/00	D

審査請求 未請求 請求項の数 4 書面 (全 8 頁)

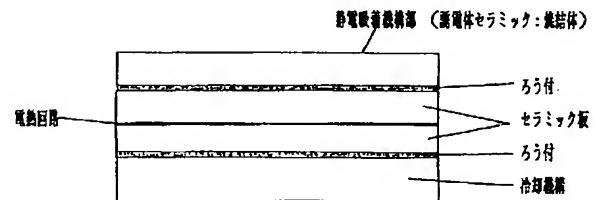
(21) 出願番号	特願平9-94330	(71) 出願人	591146136 宮田 征一郎 山口県下関市長府中土居本町 9-10
(22) 出願日	平成 9 年(1997) 3 月 8 日	(72) 発明者	宮田 征一郎 山口県下関市長府中土居本町 9-10

(54) 【発明の名称】 静電チャック

(57) 【要約】

【課題】 静電吸着した半導体基板等の被処理物の温度を急速制御、精密制御できる静電チャックの構造に係わる。

【解決方法】 誘電体セラミックと該セラミックの底面に形成された電極を備えてなる静電吸着機構底面に加熱機構を結合し、該加熱機構の底面に冷却機構を結合した構造からなり、該加熱機構は、電気絶縁性で、線膨張係数が同じあるいは近似した二枚のセラミック基材の間に該セラミックに融着性の電熱材料の膜を挟み、該膜が該二枚の基材に焼結あるいは熔融融着した構造からなることを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】誘電体セラミックと該セラミックの底面に形成された電極を備えてなる静電吸着機構の底面に加熱機構を結合した構造からなり、該加熱機構は、電気絶縁性で、線膨張係数が同じあるいは近似した二枚のセラミック基材の間に該セラミックに融着性の電熱材料の膜を挟み、該膜が該二枚の基材に熔融融着した構造からなることを特徴とする静電チャック。

【請求項2】誘電体セラミックと該セラミックの底面に形成された電極を備えてなる静電吸着機構底面に加熱機構を結合し、該加熱機構の底面に冷却機構を結合した構造からなり、該加熱機構は、電気絶縁性で、線膨張係数が同じあるいは近似した二枚のセラミック基材の間に該セラミックに融着性の電熱材料の膜を挟み、該膜が該二枚の基材に熔融融着した構造からなることを特徴とする半導体基板の静電チャック。

【請求項3】上記誘電体セラミックと加熱機構の二枚のセラミック基材が窒化アルミニウム系セラミックである請求項1～2のいずれかに記載の静電チャック。

【請求項4】上記電熱材料が、マイクロ組織が珪化物とSiの混在組織の金属である請求項3に記載の静電チャック。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、静電チャックの構造に係わり、さらに詳しくは、静電吸着した半導体基板等の被処理材の温度を急速制御、精密制御できる静電チャックの構造に係わるものである。

【0002】

【従来の技術】半導体のプラズマ加工は集積度が高くなるほど、より極細化し、より厳しい精度が要求される。プラズマ加工の極細化、高精度化を達成する上でプラズマ処理温度は極めて重要なファクターになるが、現状設備では、処理するシリコンウエハーの過昇温防止のために冷却するだけ（エッチング処理）、成膜処理（CVD）では、設定温度よりも低めに設定して処理中の自然昇温は放任されているのが実情である。現実には以上のような状況であるが、これは温度管理の重要性が認識されていないためではなくて、現実、経済的なスピードで温度管理できる機構が存在しないためである。実験室的に生産性を無視すれば、精密な温度管理は可能であるが、現状の生産ラインの中で、例えば処理する薄膜の材質に応じて、膜ごとに、生産性を落とすことなく素早くその膜質に最適な温度に変えて処理する様な、クイック制御、精密制御できる機構が存在しないためである。この問題を解決するには現実の処理スピードに対応して迅速に温度を調節できる機構が必要となる。つまり処理スピードを落とすことなく迅速かつ連続的に温度調節できる機構が必要となる。一方プラズマ処理以外でも、装置の稼働率を上げるために、設定した温度に素早く加熱した

り、あるいは加熱後、素早く冷やしたりする要求も多い。ここでも迅速かつ連続的に温度調節できる機構が求められている。一方真空処理の場合、非処理物の表面には湿分が付着しており、所定の真空度に早く到達させるためには、非処理物は加熱したほうがよいが、現実、非処理物だけを速やかに加熱する方法はない。

【0003】

【発明が解決する課題】本発明は、かかる状況に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、半導体基板やその他の被処理物を吸着固定すると共に、所定温度に急速加熱あるいは急速昇降温させて速やかに設定温度に精密調節できる新しい構造の静電チャックを提供せんとするものである。

【0004】

【課題を解決するための手段】上記問題は次の構造の静電チャックによって解決される。すなわち、

1. 誘電体セラミックと該セラミックの底面に形成された電極を備えてなる静電吸着機構の底面に加熱機構を結合した構造からなり、該加熱機構は、電気絶縁性で、線膨張係数が同じあるいは近似した二枚のセラミック基材の間に該セラミックに融着性の電熱材料の膜を挟み、該膜が該二枚の基材に熔融融着した構造からなることを特徴とする静電チャック。

2. 誘電体セラミックと該セラミックの底面に形成された電極を備えてなる静電吸着機構底面に加熱機構を結合し、該加熱機構の底面に冷却機構を結合した構造からなり、該加熱機構は、電気絶縁性で、線膨張係数が同じあるいは近似した二枚のセラミック基材の間に該セラミックに融着性の電熱材料の膜を挟み、該膜が該二枚の基材に熔融融着した構造からなることを特徴とする半導体基板の静電チャック。

3. 上記誘電体セラミックと加熱機構の二枚のセラミック基材が窒化アルミニウム系セラミックである1～2のいずれかに記載の静電チャック。

4. 上記電熱材料が、マイクロ組織が珪化物とSiの混在組織の金属である3に記載の静電チャック。

【0005】

【発明の実施の形態】本発明の加熱機構は、電気絶縁性で、線膨張係数が同じあるいは近似した二枚のセラミック基材の間に、このセラミックに融着性の電熱材料の膜を挟み、該二枚の基材に熔融融着させた構造のセラミックヒーターからなる。

【0006】熔融、融着させる電熱合金としてSi基合金が好ましい。Siと全率固溶体を作る元素、例えばGeを除いて、Siはほとんどの金属と珪化物を作る。Si基合金をSi-Xと表示した時、XはSiと珪化物を作る元素とすると、Si-X合金のSiの変化によるマイクロ組織の基本的な変化は次のようになる。

【0007】① Siが徐々に増えていくと、ある組成のところで最初の珪化物を形成する。この組成をSi

(1)とする。 $Si < Si(1)$ の区域では、Xなる金属のマトリックスにXなる金属の珪化物相が混在する組織。あるいはSiが多少固溶したXなる金属のマトリックスにXなる金属の珪化物相が混在する組織。

【0008】② $Si(1)$ からさらにSiが増加すると、組成のこなる珪化物が次々と現れ、ある組成 $Si(2)$ を過ぎたところから珪化物とSiの混在する共晶が現れる。 $Si(1)$ はX元素の最もリッチな珪化物、 $Si(2)$ はSiの最もリッチな珪化物である。 $Si(1) \leq Si \leq Si(2)$ の区域では、この区域は、一

種あるいは二種以上の珪化物の混在組織。

【0009】③ $Si(2)$ を過ぎて $Si(100\%)$ 未満までの間
 $Si(2) < Si < Si(100\%)$

この区域は、Siと珪化物の混在する組織。

【0010】④ $Si = 100\%$ ではSiの多結晶組織となる。

【0011】ここで、上記したSi-Xの二元系に第3、第4、第5、…元素が添加されても、組織そのものの基本的な骨格、つまりマトリックスに珪化物が存在するという基本的な骨格は変わらない。つまり第3、第4、第5、…元素はマトリックスに固溶されるか、珪化物に固溶されて複珪化物を形成するか、あるいは、ほかの化合物を形成してマトリックスに晶出、あるいは析出するかであり、少なくとも珪化物(あるいは複珪化物)がマトリックスから消滅することはない。なお、本発明では「珪化物」なる表現は、本来の珪化物と複珪化物を含めた総称として使用した。

【0012】電熱合金としては、②、③の組成範囲、とりわけ③の組成範囲が好適である。セラミック基材としては、③の組成範囲では窒化アルミ系、窒化ケイ素系セラミックが好適で、とりわけ窒化アルミ系セラミックが好適である。②の組成範囲ではアルミナ系セラミックが好適である。

【0013】④のSi単体組織は電気抵抗が高すぎるので電熱合金としては好ましくない。

【0014】③の組成は、窒化アルミ系セラミックに対して融着性がある上に、線膨張係数が $4 \sim 7 \times 10^{-6}$ で、珪化物の量を調整することにより線膨張係数を窒化アルミ系セラミックのそれに整合させることができるので、融着界面での熱応力を極小にでき融着膜は高温まで安定して使用できる。また融点も低いので融着温度を低くできる利点がある。またマトリックス中の珪化物の量を調整することによって電気抵抗を調整できる。

【0015】②の組成は、線膨張係数が $7 \sim 8 \times 10^{-6}$ でアルミナセラミック基材の線膨張係数に近似しているので、基材としてアルミナ系セラミックが使用できる。

【0016】②、③共、大気中、高温(1000°C 以上)での耐酸化性に優れている。②、③共、とりわけ③

は、電気抵抗が大きいので抵抗回路の長さを短くでき、単位面積当たりのワット密度の大きいヒーターが得られる。電熱合金として②、③、とりわけ③を選択するのは以上のような理由による。電熱合金を融着させる基材として窒化アルミ系、窒化ケイ素系、アルミナ系を選ぶのは、それぞれ②、③の線膨張係数がアルミナ、窒化アルミ、窒化ケイ素のそれに近似しており、融着界面での熱応力を極小にできるからである。

【0017】上記したSi-X合金のX元素としては、Cr, Mo, W, Fe, Ni, Co, B, Pおよび活性金属、およびPt, Pd, Rh, Ir, Cu, Agおよびその他の珪化物形成元素等を目的に応じて適宜選択できる。また、これらの元素は目的に応じて一種あるいは二種以上を適宜混ぜて使用してよい。

【0018】これらの元素の中でとくに好ましいのは、活性金属元素である。活性金属とはセラミックに対して濡れ、拡散を促進する元素で、本発明では、V, Nb, Ta, Ti, Zr, Hf, Y, Mn, Ca, Mg, 希土類元素およびアルミニウム等々を活性金属と表現した。Siに活性金属が添加されると、濡れが著しく促進され、濡れ角が小さくなる。この結果、融着させる融着膜の平滑化と平坦化と薄膜化が可能になり、均一でかつ電気抵抗の大きな被膜が得られるようになり、また融着強度も向上する。濡れ性の改善は、0.1%程度の微量添加から効果が現れてくるが、実用的な効果を得るためには、0.5%以上の添加がよい。Si-X合金でXがTiのとき、③の区域は、 $0\% < Ti < 46\%$

②の区域は、 $46\% (TiSi_2) \leq Ti \leq 75\% (Ti_3Si_2)$ 。③の区域の珪化物は $TiSi_2$ で、 $Si + TiSi_2$ のマイクロ組織。XがZrのとき、③の区域は、 $0\% < Ti < 40\%$ 、②の区域は、 $40\% (ZrSi_2) \leq Ti \leq 93\% (Zr_4Si)$

③の区域の珪化物は $ZrSi_2$ で、 $Si + ZrSi_2$ のマイクロ組織。最も好ましい範囲は、Si-Ti合金で、 $Ti: 10 \sim 25\%$ 、Si-Zr合金で、 $Zr: 10 \sim 30\%$ である。なお、いずれも重量%である。

【0019】本発明静電チャックの吸着機構部底面には上記したセラミックヒーターが一体的に接合されており、吸着した半導体基板等の被処理物を速やかに加熱することができる。また加熱機構の底面にさらに冷却機構を一体的に接合することによって、冷却機能も付加され、加熱、冷却併用することによって精密な温度制御が可能になる。

【0020】静電吸着機構に加熱機構、冷却機構を一体的に結合させる際、冷却機構-加熱機構-静電吸着機構の順が必須条件となる。順序が逆、つまり加熱機構-冷却機構-静電吸着機構の場合、加熱機構と静電吸着機構の間に冷却機構が入り、冷却機構の冷媒循環路の空隙部分が断熱層になり、加熱機構から静電吸着機構への熱移動を阻害するために、基板加熱時、昇温速度が遅くなる

問題がある。つまり、現実の処理に際しては、低温→高温、高温→低温に温度変化している時間は完全にロスタイムであるので、このロスタイムがおおきくなることは生産性の低下を招く。順序が逆になることによって加熱時のロスタイムが大きくなり、生産性の著しい低下を招く。

【0021】ここで、静電吸着機構、加熱機構、冷却機構の「一体的結合」なる表現は以下のようなことを意味するものである。

①冶金的な接合による結合

静電吸着機構とセラミックヒーター、冷却機構がロー付される場合に相当する。

②膜の積層による結合

溶射、PVD、CVD、スパッタリング等の成膜処理によって膜を積層させて基材と密に結合させる場合。具体的には誘電体セラミックがセラミックヒーターの上に成膜によって形成される場合に相当する。つまりセラミックヒーターの上に電極金属が膜生成され、この上にさらに誘電体セラミックが膜生成される場合、あるいはセラミックヒーターの上に電極金属の板が接合され、この板の上に誘電体セラミックが膜生成される場合。

③焼結、あるいは焼成による結合

金属-金属は冶金的な接合の範疇に在るが、金属-セラミック、セラミックス-セラミックの組合わせて冶金的な接合の範疇に入らないものの焼結、あるいは焼成による結合。

【0022】〔静電吸着機構部〕本発明の静電吸着機構部とは、いわゆる静電チャックの静電吸着機構部を意味する。静電吸着機構部は誘電体セラミックと、このセラミック背面に形成された静電誘導電極を含んだ構造を主要部とする構造体の総称である。すなわち、単極方式電の静電チャックにあっては、誘電体セラミックと、このセラミック背面に形成された静電誘導電極を併せた構造体を主要部とし、双極方式にあっては誘電体セラミックと、このセラミック背面に形成された静電誘導電極、およびこの電極の背面を裏打ちするセラミック絶縁板からなる構造体を主要部とする構造体が吸着機構部となる。

【0023】誘電体セラミックは、誘電体セラミックの焼結体を、あるいは誘電体セラミックの膜、つまり溶射によって誘電体セラミックの被膜を形成したもの、あるいはスパッタリング、CVD等の薄膜処理によって形成したもの、あるいはその他の成膜処理によって形成されたもの、いずれでも選択できる。ここで誘電体セラミックとは誘電率が特に高いセラミックのみに限定されるものではない。通常の電気絶縁セラミックでも厚さを薄くすると吸着力は大きくなる現象に鑑み、本発明では誘電率の不高くない通常の電気絶縁体セラミック全般もこの「誘電体セラミック」の範疇に含まれる。チタン酸アルミナ、チタン酸バリウム等の高誘電率セラミックから、窒化ケイ素、窒化アルミ、アルミナ、サファイア、炭化

ケイ素、成膜形成されたダイヤモンド、CBN等、絶縁体セラミックがこの範疇に在る。なお接合時の歪をなくすために、誘電体セラミックの材質はセラミックヒーターと同じセラミックを使用するか、あるいは線膨張係数が同じあるいは近似したものを選擇するほうが好ましい。つまりセラミックヒーターが窒化アルミ系の場合、同じ窒化アルミ系のセラミックあるいは線膨張係数が同じあるいは近似したものを選擇するほうが好ましい。なお誘電率の不高くない通常の電気絶縁体セラミックを誘電体セラミックとして使用する際（例えば窒化アルミを誘電体セラミックとして使用する際）、誘電率を高くする目的で、高誘電率セラミック（チタニア、SiC等）成分を添加するのも効果がある。

【0024】静電吸着機構部背面には加熱機構（セラミックヒーター）が結合されるが、双極の場合、加熱機構つまりセラミックヒーターのセラミック面を静電吸着機構部背面の絶縁体として代用してもよい。

【0025】また、吸着機構部背面に加熱機構（セラミックヒーター）を結合するに当たり、結合面に応力緩和の目的で異種材料の層をインサートする場合もある。本発明の「静電吸着機構部」はこれらインサートされる層の部分まで含めて総称するものである。

【0026】〔冷却機構〕基材に冷媒循環路を設け、この中に液体、気体冷媒を循環させて冷却する。循環路は、基材に溝加工して、あるいは基材に管路の埋め込み、あるいは仕切り板を渦巻状に巻回し、両端面にめくら板を接合して渦巻状の循環路形成、あるいは管路を内蔵する構造を鋳造金属、あるいは溶接で形成、あるいは管路を内蔵する構造をセラミック焼結体で形成等々、種々の方法で形成する。循環路を形成する基材の材料は、良熱伝導性の金属、セラミックあるいは金属セラミックの複合材料等、いずれを採用してもよい。とくに金属／セラミック複合材料はその割合を変えることによって線膨張係数を自在に調節できるので、接合部の残留応力軽減の点で有利である。また、セラミックヒーターと冷却機構の接合に際して、残留応力緩和の目的で、異種材料の層をインサートして接合するのは効果的である。

【0027】図面によって実施の形態を説明する。本発明は基本的には4つの構造に大別できる。一つは誘電体セラミックが焼結体で形成された構造（図1）、一つは誘電体が成膜手法、例えば溶射、CVD、PVD、スパッタリング、その他の成膜手法で形成された構造（図2）、そしてそれぞれについて加熱機構に冷却機構が接合された構造（図3、4）である。図1～4はこれらの状況を説明した図である。

【0028】図1は静電吸着機構部の誘電体セラミックが焼結体、図2は静電吸着機構部の誘電体セラミックが成膜形成されたもの、図3は図1の構造に冷却機構が接合されたもの、図4は図2の構造に冷却機構が接合されたものである。

10

20

30

40

50

【0029】誘電体セラミックが焼結体の場合、電極の形成の仕方によって二つの構造に別れる。一つは図5のようにセラミックと電極を一体焼結した構造。電極はセラミックの中にくるまれる。もう一つは図6のように焼結体をヒーターにロー付し、ロー付層が電極を兼ねる構造である。

【0030】図5の構造の場合、セラミックヒーターの電熱合金を誘電体セラミックの片面に直接融着させてもよい。つまり図7の様にヒーターの片面のセラミックを誘電体セラミックの片面で代用させてもよい。

【0031】次に実施例を示す。

実施例1（構造：図8の構造）

誘電吸着機構部：窒化アルミ円板（φ50×0.2mm厚さ）を使用

加熱機構：φ50×1tの窒化アルミ板、2枚使用。

電熱合金はSi+TiSi₂のミクロ組織の合金使用。

（Si-25%Ti合金）

二枚の窒化アルミ板（φ50×1t）の片面にそれぞれSi-25%Ti合金の粉末を電熱回路模様印刷し、仮焼結後、二枚を重ね合せ、真空中、1430℃で溶融、融着させた。電熱合金膜の厚さは100ミクロンであった。

〔接合〕誘電吸着機構部の窒化アルミニウム板とヒーターの接合も、電熱合金と同じSi-25%Ti合金使用。接合はヒーターの接合時同時に接合した。接合金属を電極として使用（単極）

〔テスト〕

静電吸着：電極とシリコンウエハーの間に700Vの直流電圧を印加して誘電体セラミックの表面に2インチシリコンウエハーを吸着させた。

加熱

常温（20℃）から加熱開始。ヒーターに通電、ウエハー表面は、60秒で700℃に加熱できた。

保持

ヒーター加熱をON-OFF制御してシリコンウエハー表面温度を700℃±5℃の範囲に保持できた。本発明はシリコンウエハーを急速加熱でき、かつ均一に保持できることが確認できた。

【0032】実施例2

図9の構造

実施例1の構造に冷却機構を接合した構造

誘電吸着機構部、セラミックヒーターは実施例1と同じ方法で製造。電熱合金は、Si-20%Zr合金使用。真空中1430℃で接合。電熱合金の厚さ、100μmであった。電極は接合金属層を単極として利用。

冷却機構の構造：幅10mm、厚さ0.5mmのタングステンの帯を渦巻き状に巻回し、これを二枚のφ50×1tのタングステンの円板の間に挟み端面を二枚のタングステン円板と銀ロー付した構造。冷却は水冷、空冷

〔冷却機構との接合〕窒化アルミヒーターと冷却機構はTi入りの銀ろうで直接ロー付した。ロー付の際、窒化アルミヒーターとタングステンの冷却機構の間に応力緩衝を目的として50%W-50%窒化アルミ（体積%）の複合焼結体の円板（φ50×1mm）を間に挟んで接合した。

〔テスト〕

静電吸着：電極とシリコンウエハーの間に700Vの直流電圧を印加して誘電体セラミックの表面に2インチシリコンウエハーを吸着させた。

加熱

0℃から加熱開始。ヒーターに通電、ウエハー表面は、25秒で100℃に加熱できた。

冷却

ヒーターを切った後、水冷開始。ウエハー表面は40秒で15℃まで冷却できた。

保持

ヒーター加熱と同時に水冷併用してシリコンウエハー表面温度を50℃±1℃の範囲に保持できた。本発明はシリコンウエハーを急速昇降温でき、かつ均一温度に保持できることが確認できた。

【0033】実施例3（構造：図10の構造）

誘電吸着機構部：タングステンの電極膜をセラミックの内部に同時焼成した窒化アルミ円板（φ50×2mm厚さ）を使用

加熱機構

上記電極膜内蔵窒化アルミ円板の裏面（非吸着側）の窒化アルミ面に電熱合金（Si-15%Ti合金）の電熱回路を印刷し、印刷面にさらに窒化アルミ板（φ50×1t）を重ね合せ、真空中、1430℃で溶融して、電極膜内蔵窒化アルミ円板と窒化アルミ板を融着させた。電熱合金膜の厚さは概ね100ミクロンであった。

冷却機構の構造：アルミニウム板（φ50×25mm厚さ）の片面に渦巻き状の冷媒循環用の溝を加工し、アルミニウムの板（φ50×5mm厚さ）を裏当てしてろう付（アルミニウムろう付）した構造の冷却ジャケットを使用した。

〔冷却機構との接合〕窒化アルミヒーターと冷却機構の間に応力緩衝を目的としてMo板（φ50×1mm）を挟み、窒化アルミヒーターとMo、Moと冷却機構、共にインジウム半田で半田付した。

〔テスト〕

静電吸着：電極とシリコンウエハーの間に700Vの直流電圧を印加して誘電体セラミックの表面に2インチシリコンウエハーを吸着させた。

加熱

0℃から加熱開始。ヒーターに通電、ウエハー表面は、25秒で100℃に加熱できた。

冷却

ヒーターを切った後、アルミジャケットに水を循環開

始。ウェハー表面は50秒で15℃まで冷却できた。

保持

ヒーター加熱と同時に水冷併用してシリコンウェハー表面温度を $50^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ の範囲に保持できた。本発明はシリコンウェハーを急速昇降温でき、かつ均一温度に保持できることが確認できた。

【0034】

【発明の効果】以上詳記したように、本発明は半導体基板表面を極めて短い温度サイクルで昇降温できる特徴があり、生産性の向上、プラズマ処理や成膜処理等の品質向上に多大の貢献が期待できるものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】 図1は本発明の基本的な構造の説明図（誘電体セラミックが焼結体）

【図2】 図2は本発明の基本的な構造の説明図（誘電*

* 体セラミックが成膜形成）

【図3】 図3は本発明の基本的な構造の説明図（図1の構造に冷却機構が接合されたもの）

【図4】 図4は、本発明の基本的な構造の説明図（図2の構造に冷却機構が接合されたもの）

【図5】 図5は、誘電体セラミックが焼結体の場合の電極の構造の説明図

【図6】 図6は、誘電体セラミックが焼結体の場合の電極の構造の説明図

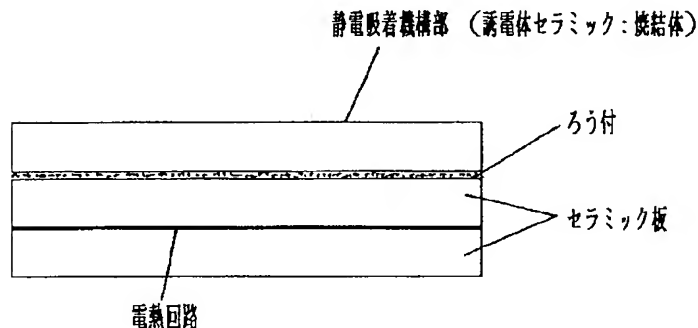
【図7】 図7は、誘電体セラミックが焼結体の場合の電極の構造の説明図

【図8】 図8は、実施例の構造の説明図

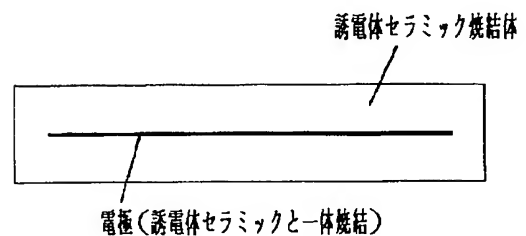
【図9】 図9は、実施例の構造の説明図

【図10】 図10は、実施例の構造の説明図

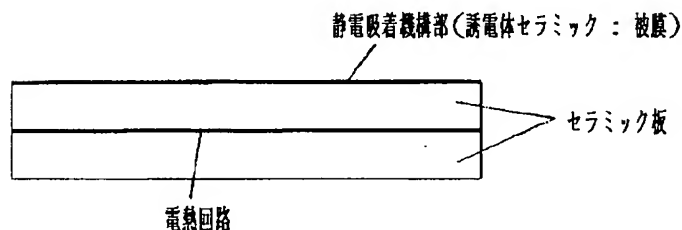
【図1】



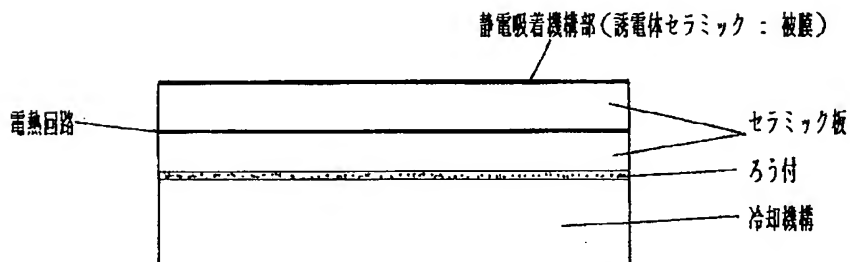
【図5】



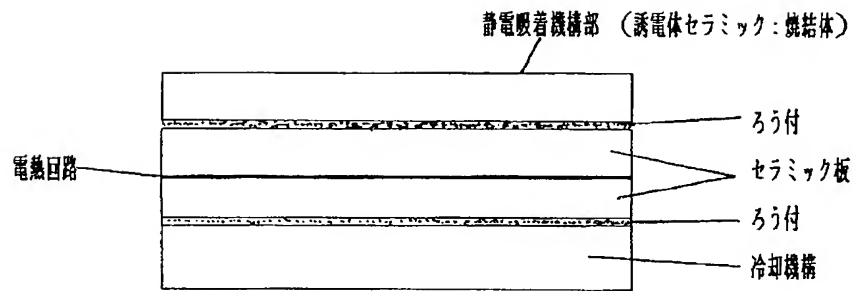
【図2】



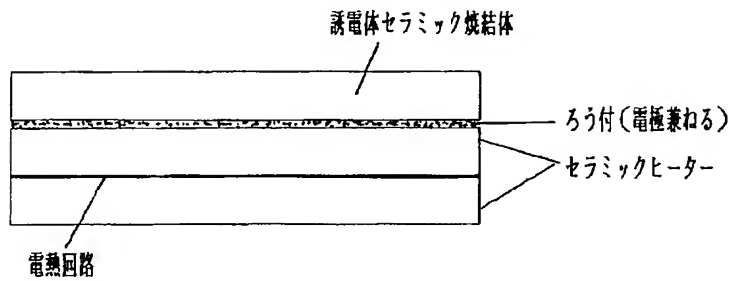
【図4】



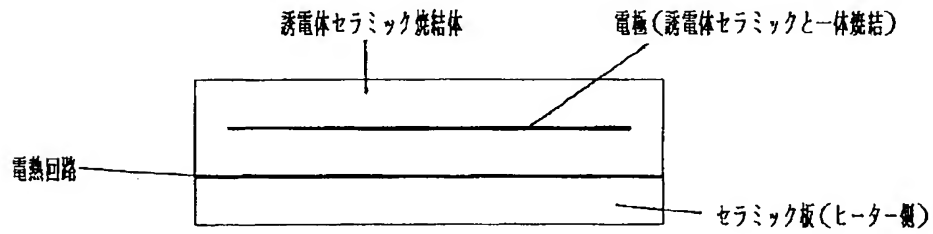
【図3】



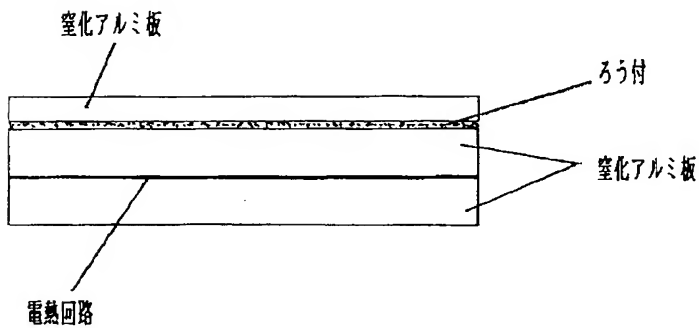
【図6】



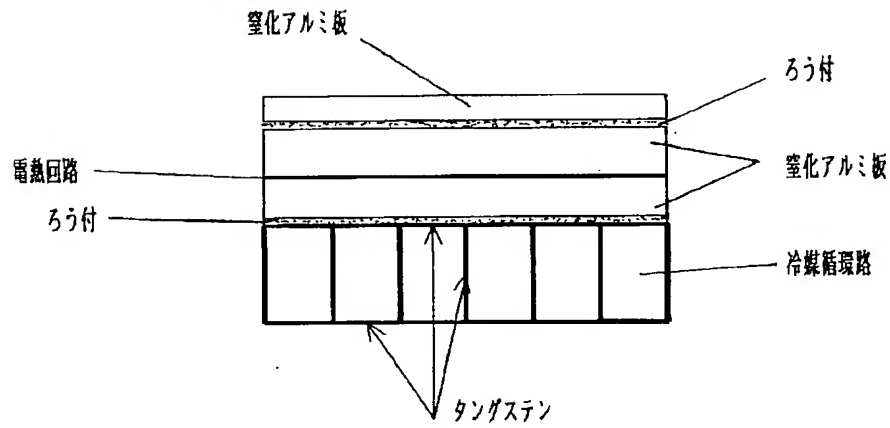
【図7】



【図8】



【図9】



【図10】

